
Секція 7: Прилади і методи технологічного контролю

К ВОПРОСУ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Губаревич О.В., доц. каф.електромеханика, к.т.н.

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля

Экспериментальная оценка надежности (испытания на надежность готовых изделий) является одним из важнейших этапов в процессе разработки и серийного выпуска промышленных изделий.

Ресурс современных электрических машин составляет 25000 — 50000 ч, в связи с чем проведение испытаний может затянуться на долгие годы. Для сокращения сроков используются форсированные методы испытаний, однако при этом должно быть найдено соответствие между испытаниями в нормальных условиях и форсированными (ускоренными). Этой цели служат исследования по определению коэффициентов ускорения.

Коэффициент ускорения есть отношение времени испытаний в обычных условиях (t_n) ко времени испытания в форсированных режимах (t_v) при условии равенства значений вероятностей безотказной работы в обоих случаях :

$$k = t_n / t_y.$$

Ускоренные испытания электрических машин проводятся в специальных условиях, которые характеризуются повышенным уровнем некоторых воздействующих факторов, называемых *факторами форсировки*. К ним относятся: повышенная температура, повышенная вибрация, частота вращения, частота пусков, повышенная влажность, удельное нажатие и плотность тока под щеткой, запыленность и др. При ускоренных испытаниях на надежность количество факторов форсировки обычно варьируется от двух до четырех. Для получения зависимостей коэффициента ускорения в функции факторов форсировки (эти функциональные зависимости значительно расширяют возможности дальнейших испытаний на надежность по сравнению с точечными значениями) необходимо реализовать специальные планы, которые составлены согласно математической теории планирования экспериментов. Функциональные зависимости записываются в полиномиальном виде:

для планов первого порядка

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2. \quad (2)$$

Функциональная связь коэффициентов ускорения и факторов форсировки находится после математической обработки. Например, если коэффициент ускорения является функцией трех факторов: температуры в ($^{\circ}\text{C}$), частоты вращения n и вибрации, тогда зависимость коэффициента ускорения от указанных факторов форсировки можно представить в виде (2), где x_1 — температура; x_2 — вибрация; x_3 — частота вращения (все величины закодированы).

Для проведения испытания по определению коэффициента ускорения предварительно необходимо выполнить следующие операции:

разделить исследуемую систему на отдельные подсистемы; установить факторы, воздействующие на отдельные узлы, и определить совокупность факторов, которые должны быть воспроизведены при ускоренных испытаниях; установить предельные значения основных воздействующих факторов; выбрать контрольные параметры и установить критерии отказа; составить план испытаний по определению коэффициентов ускорения и обеспечить реализацию заданных уровней форсировки по каждому из факторов.

Рассмотрим в качестве примера машину постоянного тока, которую как систему можно разбить на отдельные подсистемы, а именно: подшипниковый узел, коллекторно-щеточный узел, обмотки статора и ротора.

В зависимости от характера воздействия факторов на исследуемые объекты их можно разбить на три группы: случайные \bar{W} , постоянные \bar{C} и изменяемые \bar{X} .

К случайным факторам можно отнести: отклонение геометрии магнитной системы, расстройство коммутации, всплески токов, эксцентриситет коллектора, эллиптичность коллектора, ослабление: коллектора, отклонение в технологии изготовления коллекторов и щеток, перекос щеток в щеткодержателях и т. д.

К постоянным факторам относятся: конструкция коллекторного узла, применяемые материалы, марка щеток, конструкция щеткодержателя.

К изменяемым, контролируемым факторам воздействия относятся: температура, влажность, кислотность, запыленность, вибрация, давление на щетку, плотность тока под щеткой, частота пусков, частота вращения, величина нагрузки и время непрерывной работы.

Факторы групп \bar{W} и \bar{C} в основном определяются конструкцией, технологией, настройкой машины, а также условиями ее эксплуатации. При реализации планов теории эксперимента факторы групп \bar{W} и \bar{C} автоматически учитываются в уравнениях регрессии.

Воздействующие факторы группы \bar{X} могут быть изменены в достаточно широких пределах. Для получения наибольших коэффициентов ускорения режимы испытания должны быть более жесткими, но бесконечно увеличивать форсировку нельзя, чтобы не нарушить физическую картину процессов старения отдельных подсистем. Опыт создания методик ускоренных испытаний показывает, что коэффициент ускорения не должен превышать 12—15 (в некоторых случаях 20). Выбор интервалов варьирования параметров группы \bar{X} является сложной задачей и основывается на данных технических условий, лабораторных испытаниях, анализе всего объекта в целом, после проведения предварительного эксперимента интервалы варьирования уточняются.

Ориентировочно предельные значения для машин постоянного тока составляют: температура коллектора — до 150°C, частота вращения — до 1,5 номинальной, влажность окружающего воздуха — до 98%, двойная амплитуда вибрации — не более тройной от номинала, плотность тока под щеткой — до 12 А/см².

Критерии работоспособности рассмотрим на примере коллекторного узла. К ним можно отнести: биение (статическое и динамическое), искрение, износ щеток, температуру коллектора, ширину безыскровой зоны, переходное сопротивление щеточного контакта, падение напряжения в щетках. Критерии отказа: превышение уровня искрения выше допустимого, скорость износа щеток или величина износа щеток, износ коллектора выше допустимого, существенное превышение температуры коллектора выше допустимого.

Функциональные зависимости, связывающие коэффициент ускорения и факторы форсировки, находятся с помощью методов теории планирования эксперимента. Перед проведением испытаний должны быть осуществлены следующие процедуры: выбор параметра оптимизации (выходного параметра); выбор факторов форсировки (они не должны быть взаимосвязаны ни по каким признакам); выбор центра плана, уровней и интервалов варьирования факторов; выбор схемы планирования. Используя выбранную схему планирования экспериментов, а также параметры функции отклика и коэффициент ускорения, которые оценивают работоспособное состояние изделия, производится оперативная оценка надежности машины.

Основное требование, предъявляемое к ускоренным испытаниям, это идентичность процессов старения и износа по отношению к нормальным условиям, что в свою очередь означает идентичность законов распределения. В общем случае целью испытаний является нахождение функциональных зависимостей, связывающих коэффициенты ускорения и факторы форсировки, и значения максимально возможного (с точки зрения сохранения адекватности физики процессов старения) коэффициента ускорения.

В некоторых случаях проводятся ускоренные контрольные испытания в нормальных условиях. Эти испытания базируются на известной математической модели процесса.